





STRUCTURAL MEMBER, STRUCTURAL ASSEMBLY, AND METHOD OF SELECTIVELY IMPROVING STRENGTH, TOUGHNESS, FATIGUE RESISTANCE OF STRUCTURAL MEMBER IN AREA HAVING HIGH OPERATING STRESS

Patent number: JP2002104289
Publication date: 2002-04-10
Inventor: FORREST R SCOTT; WALDRON DOUGLAS J
Applicant: BOEING CO
Classification:
- international: **B23K20/12; C21D9/00; C22F1/00; C22F1/04; C21D1/34; B23K20/12; C21D9/00; C22F1/00; C22F1/04; C21D1/34; (IPC1-7): B23K20/12; B64C1/00; B64C1/06**
- european: **B23K20/12E; C21D9/00P; C22F1/00; C22F1/04**
Application number: JP20010171098 20010606
Priority number(s): US20000589504 20000607

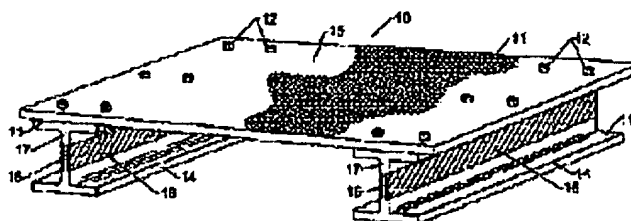
Also published as:

 EP1162283 (A2)
 US6398883 (B1)
 EP1162283 (A3)
 CA2348113 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP2002104289

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an improved structural assembly and a method to improve strength, toughness and fatigue resistance of a structural member in a region having high operating stress. **SOLUTION:** At least one of plural structural members specifies a first region having a comparatively high operating stress as a feature and a second region having a locally refined crystal grain structure, and the second region is positioned so as to partially include the first region in order to heighten the strength, toughness and fatigue resistance of the structural member in the first region. The region of a structural member having comparatively high operating stress is distinguished, and the structural member is fixed. The strength, toughness, and fatigue resistance of the structural member in the region is improved by mixing the region of the structural member having the comparatively high operating stress by a rolling friction agitation welding probe and by locally refining the crystal grain structure of the structural member in the region having the high operating stress. The structural member is fixed to the other structural member in order to form the machine casing of an airframe.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-104289
(P2002-104289A)

(43) 公開日 平成14年4月10日 (2002.4.10)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターミナル (参考)
B 6 4 C 1/00		B 6 4 C 1/00	B 4 E 0 6 7
1/06		1/06	
// B 2 3 K 20/12	3 1 0	B 2 3 K 20/12	3 1 0

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-171098(P2001-171098)

(22) 出願日 平成13年6月6日 (2001.6.6)

(31) 優先権主張番号 09/589504

(32) 優先日 平成12年6月7日 (2000.6.7)

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 598138811
ザ・ボーイング・カンパニー
THE BOEING COMPANY
アメリカ合衆国、90740-1515 カリフォルニア州、シール・ビーチ、ピー・オー・ボックス・2515、シール・ビーチ・プールバード、2201

(72) 発明者 アール・スコット・フォレスト
アメリカ合衆国、92705 カリフォルニア州、サンタ・アナ、ウィンザー・レーン、1711

(74) 代理人 100064746
弁理士 深見 久郎 (外5名)

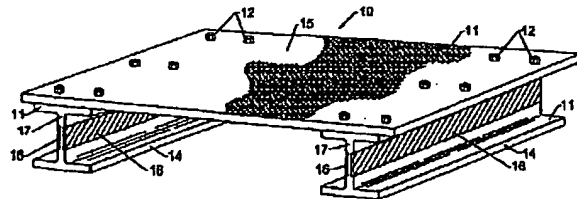
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 構造部材、構造アセンブリならびに、動作応力が高い領域における構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改良するための方法

(57) 【要約】

【課題】 改良された構造アセンブリと、動作応力が高い領域において構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改良する方法とを提供する。

【解決手段】 複数の構造部材のうち少なくとも1つは、比較的高い動作応力を特徴とする第1の領域と、局所的に微細化された結晶粒構造を有する第2の領域とを規定し、第2の領域は、第1の領域を少なくとも部分的に包含するように位置付けられて第1の領域での構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を高める。比較的高い動作応力を有する構造部材の領域が識別され、構造部材が固定される。比較的高い動作応力を有する構造部材の領域が回転摩擦攪拌溶接プローブで混合され、高い動作応力の領域内で構造部材の結晶粒構造を局所的に微細化することにより、領域における構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を改良する。構造部材は他の構造部材に固定されて機体の機枠を形成する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 構造部材であって、
比較的高い動作応力を特徴とする第 1 の領域と、
構造部材の他の部分よりも微細化された結晶粒構造
を有する第 2 の領域とを含み、前記第 2 の領域は前記第
1 の領域を少なくとも部分的に包含し、それにより前記
第 1 の領域において構造部材の強度、強靱性および耐疲
労性を選択的に改良する、構造部材。

【請求項 2】 前記第 2 の領域内に少なくとも部分的に
保持されるねじ付開口をさらに含む、請求項 1 に記載の
構造部材。

【請求項 3】 構造部材は、鋼、ステンレス鋼、マグネ
シウム、マグネシウムベースの合金、真鍮、銅、ベリリ
ウム、ベリリウム-銅合金、アルミニウム、アルミニウ
ムベースの合金、アルミニウム-亜鉛合金、アルミニウ
ム-銅合金、アルミニウム-リチウム合金およびチタン
からなる群から選択される材料から形成される、請求項
1 に記載の構造部材。

【請求項 4】 構造アセンブリであって、
複数の構造部材を含み、前記複数の構造部材はともに固
定されて構造アセンブリを形成し、
前記複数の構造部材のうち少なくとも 1 つは、比較的高
い動作応力を特徴とする第 1 の領域と、構造部材の他の
部分よりも微細化された結晶粒構造を有する第 2 の
領域とを規定し、前記第 2 の領域は前記第 1 の領域を少
なくとも部分的に包含し、それにより前記第 1 の領域に
おいて前記少なくとも 1 つの構造部材の強度、強靱性お
よび耐疲労性を選択的に改良する、構造アセンブリ。

【請求項 5】 前記少なくとも 1 つの構造部材は、前記
第 2 の領域内に少なくとも部分的に保持されるねじ付開
口を規定する、請求項 4 に記載の構造アセンブリ。

【請求項 6】 動作応力が高い領域において構造部材の
強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改良するための
方法であって、

動かないように構造部材を固定するステップと、
比較的高い動作応力を有する構造部材の領域を識別する
ステップと、

動作応力が高い領域に隣接して摩擦攪拌溶接プローブを
位置付けるステップと、

その後、動作応力が高い領域内で構造部材の結晶粒構
造を局所的に微細化し、それにより領域の構造部材の強
度、強靱性および耐疲労性を改良するように、構造部材
の外表面を通して回転摩擦攪拌溶接プローブを挿入する
ステップとを含む、方法。

【請求項 7】 前記固定のステップに先立って、予め選
択された構成に構造部材を鋳造するステップをさらに含
む、請求項 6 に記載の方法。

【請求項 8】 動作応力が高い領域において構造部材の
強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改良するための
方法であって、

動かないように構造部材を固定するステップと、
比較的高い動作応力を有する構造部材の領域を識別する
ステップと、

その後、動作応力が高い領域内で構造部材の結晶粒構
造を局所的に微細化し、それによりその領域における構
造部材の強度、強靱性および耐疲労性を改良するよう
に、比較的高い動作応力を有する構造部材の領域を回転
摩擦攪拌溶接プローブで混合するステップとを含む、方
法。

【請求項 9】 前記混合のステップは、
構造部材の外表面を通して回転摩擦攪拌溶接プローブを
挿入し、動作応力が高い領域内で構造部材の結晶粒構造
を局所的に微細化するステップと、
その後、動作応力が高い領域に対応する経路に沿って
構造部材を通して回転摩擦攪拌溶接プローブを移動させ
るステップとを含む、請求項 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】この発明は、構造部材の材料特性を選択
的に改良するステップに関し、より特定的には、構造部
材の結晶粒構造を選択的に微細化するステップに関す
る。

【0002】

【発明の背景】従来の構造アセンブリ、たとえば軍用機
および民間機の製造で用いられるものなどは、ともに固
定されて組立構造を形成する複数の構造部材から一般的
に作製される。構造部材は、鋼、ステンレス鋼、マグネ
シウム、マグネシウム合金、銅、銅合金、真鍮、アルミ
ニウム、アルミニウム合金またはチタンからさまざまな
構成に鍛造され、資材から機械加工されまたは鋳造され
るのが典型的である。

【0003】使用の間に、航空機の構造アセンブリは、
静荷重および周期的荷重を受けるだけでなく、さまざま
な環境条件、温度変化ならびに厳しい音響および振動環
境に晒されるが、そのすべては機械的応力および熱応力
をもたらすものである。これらの動作応力は、構造アセ
ンブリを形成する個別の構造部材にわたって全般的に存
在し、各構造部材のある領域が比較的高い大きさの
応力を受けるのが典型的である。たとえば、周期的荷重
の条件下では、構造アセンブリを形成する際の他の構造
部材への取付けを容易にするために機械加工で構造部材
に作られたねじ付開口は、開口のすぐ近傍で応力を著し
く増加し得る。高い動作応力は、構造アセンブリの構造
部材の微小割れまたは破損につながることもあり、この
結果、アセンブリの最終的な破損を招き得る。さらに、
従来の構造アセンブリの構築に用いられる多数の部品お
よび固定具のために、必要に応じた構造部材の維持、修
理および取替えには時間と労力とが掛かり、アセンブリ
の寿命にわたりコストが高くなってしまふ。

【0004】構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を

高めるため、すなわち構造アセンブリの耐用寿命を延ばすため、設計者は、動作応力が高い領域で、たとえばこれらの領域で部材の厚みを増すことにより構造部材の寸法を変更した。設計者はまた、構造部材の作製に用いる、より異種の、典型的にはより高価なタイプの材料を代用して実験を行なった。また、構造部材が析出硬化を経ることにより、部材は溶体化熱処理され、次に予め定められた温度スケジュールで寝かされ、それにより結晶粒構造およびしたがって部材の材料特性を改良する。しかしながら、析出硬化工程には時間と労力がかかり得るものの、材料特性のごく限られた改良しかもたらず、構造部材の厚みの選択的な増加すら、構造アセンブリの全体的な重量を不利に増加させてしまい、加えて材料のコストを増してしまう。

【0005】したがって、改良された構造部材および構造アセンブリの動作寿命を増す製造方法の必要性が残る。改良された構造部材は、特に、高い動作応力を受けるそれらの領域において、高められた強度、強靱性および耐疲労性を有しなければならない。

【0006】

【発明の概要】この発明は、比較的高い動作応力を特徴とする第1の領域と、第2の領域が少なくとも部分的に第1の領域を包含し、それにより第1の領域において構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改良するように位置づけられた、構造部材の他の部分よりもより微細化された結晶粒構造を有する第2の領域とを規定する構造部材を提供する。構造部材は、鋼、ステンレス鋼、マグネシウム、マグネシウムベースの合金、真鍮、銅、ベリリウム、ベリリウム-銅合金、アルミニウム、アルミニウムベースの合金、アルミニウム-亜鉛合金、アルミニウム-銅合金、アルミニウム-リチウム合金またはチタンから形成されてもよい。

【0007】第2の領域は、比較的高い動作応力を受ける特定の領域に基づいて規定することができる。たとえば、構造部材は、第2の領域内に少なくとも部分的に保持されるねじ付開口を規定してもよい。これに代えて、構造部材は、対向端部と、端部を相互接続するウェブとを有するI字状構成を有することができ、第2の領域はI字状部材のウェブの少なくとも一部を包含する。別の実施例では、構造部材はI字状の構成を有し、前記第2の領域は前記対向端部のうち少なくとも1つの少なくとも一部を含む。さらに別の実施例では、構造部材は管状の構成を有する。さらに別の実施例では、構造部材は、微細化された結晶粒構造を有する複数の領域を規定し、領域は間隔をあけられかつほぼ平行である。さらに別の実施例では、構造部材は、微細化された結晶粒構造を有する第1の組の領域と、微細化された結晶粒構造を有する第2の組の領域とを規定する。第1の組の領域は間隔をあけられかつほぼ平行であり、第1の組の領域は第2

の組の領域と交差し、それにより複数の封じ込めゾーンを規定する。

【0008】この発明は、複数の構造部材を含む構造アセンブリを提供する。複数の構造部材はともに固定されて構造アセンブリを形成する。構造部材は、鋼、ステンレス鋼、マグネシウム、マグネシウムベースの合金、真鍮、銅、ベリリウム、ベリリウム-銅合金、アルミニウム、アルミニウムベースの合金、アルミニウム-亜鉛合金、アルミニウム-銅合金、アルミニウム-リチウム合金またはチタンから形成されてもよい。複数の構造部材のうち少なくとも1つは、比較的高い動作応力を特徴とする第1の領域と、構造部材の他の部分よりもより微細化された結晶粒構造を有する第2の領域とを規定し、第2の領域は、それが第1の領域を少なくとも部分的に包含し、それにより第1の領域において少なくとも1つの構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改良するように位置づけられる。

【0009】第2の領域は、比較的高い動作応力を受ける特定の領域に基づいて規定することができる。たとえば、少なくとも1つの構造部材は、第2の領域内に少なくとも部分的に保持されるねじ付開口を規定してもよい。これに代えて、少なくとも1つの構造部材は、対向端部と、端部を相互接続するウェブとを有するI字状の構成を有することができ、第2の領域はI字状部材のウェブの少なくとも一部を包含する。別の実施例では、構造アセンブリはI字状の構成を有し、前記第2の領域は前記対向端部のうち少なくとも1つの少なくとも一部を含む。さらに別の実施例では、少なくとも1つの構造部材は管状の構成を有する。さらに別の実施例では、少なくとも1つの構造部材は、微細化された結晶粒構造を有する複数の領域を規定し、領域は間隔をあけられかつほぼ平行である。さらに別の実施例では、少なくとも1つの構造部材は、微細化された結晶粒構造を有する第1の組の領域と、微細化された結晶粒構造を有する第2の組の領域とを規定する。第1の組の領域は間隔をあけられかつほぼ平行である。第2の組の領域は間隔をあけられかつほぼ平行であり、第1の組の領域は第2の組の領域と交差し、それにより複数の封じ込めゾーンを規定する。

【0010】この発明は、動作応力が高い領域において構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改良するための方法も提供する。1つの実施例に従うと、この方法は、構造部材を予め選択された構成に鍛造するステップを含む。これに代えて、鍛錬されたまたは機械加工された部品として、構造部材を鍛造するかまたは作製することができる。比較的高い動作応力を有する構造部材の領域が識別される。構造部材は動かないように固定される。比較的高い動作応力を有する構造部材の領域は、次に、動作応力が高い領域内で構造部材の結晶粒構造を局所的に微細化し、それにより領域内の構造部材の

強度、強靱性および耐疲労性を改良するように回転摩擦攪拌溶接プローブで混合される。混合のステップは、比較的高い動作応力を有する構造部材の領域に隣接して摩擦攪拌溶接プローブを位置づけるステップを含むことができる。次に、高応力領域の結晶粒構造を局所的に微細化するため、動作応力が高い領域に近接して構造部材の外表面を通して回転摩擦攪拌溶接プローブを挿入することができる。回転摩擦攪拌溶接プローブは、動作応力が高い領域に対応する経路に沿って、構造部材を通して移動することができる。摩擦攪拌溶接プローブは構造部材の外表面から引き抜かれ、それにより局所的に微細化された結晶粒構造を有する構造部材の領域の少なくとも部分的に中でねじ付開口を規定する。所望により、挿入のステップの前または後に、構造部材を析出硬化させることができる。

【0011】比較的高い動作応力を有する構造部材の領域を混合した後、対応する予め選択された形状および厚みに構造部材を機械加工することができる。ねじ付開口は、局所的に微細化された結晶粒構造を有する構造部材の一部の少なくとも部分的に中で機械加工され得る。構造部材は次に他の構造部材に固定されて、機体の機枠を形成することができる。

【0012】このように、この発明は、改良された構造アセンブリと、比較的高い動作応力を受けるそれらの領域において、高められた強度、強靱性および耐疲労性を有する構造部材からアセンブリが作られる、関連する製造方法とを提供する。改良された構造アセンブリは、動作寿命が延びるだけでなく、必要とする資材がより少なく、アセンブリ全体の重量が対応して減少する。

【0013】この発明の前述のおよび他の利点および特徴ならびにそれらが達成される態様は、好ましくかつ例示的な実施例を示す添付の図面と関連した、この発明の以下の詳細な説明を考察することにより、より容易に明らかになるであろう。

【0014】

【詳細な説明】この発明は、この発明の好ましい実施例が示される添付の図面を参照して以後より十分に説明される。しかしながら、この発明は多くの異なる形で実施されてもよく、本明細書中に述べられる実施例に限定されるものとして解釈されるべきではない。むしろ、これらの実施例は、この開示が完璧かつ完全であり、当業者がこの発明の範囲を十分に伝えるように与えられるものである。同じ番号は全体にわたって同じ要素を示す。

【0015】図面、特に、図1を参照すると、この発明に従う構造アセンブリ10が示される。構造アセンブリ10は、機体の機枠を含むさまざまな構造の構築に用いることができる。構造アセンブリ10は、ともに溶接されるかまたは好適な固定具12を用いて固定される複数の構造部材11から作られる。図1に示された構造アセンブリ10は、2つのI字状梁14および1つの平面部

材15を含む。しかしながら、所望により他のタイプの構造アセンブリを作ることができる。さまざまな材料を用いることができるが、構造部材11は好ましくは、鋼、ステンレス鋼、マグネシウム、マグネシウムベースの合金一般、真鍮、銅、ベリリウム、ベリリウム-銅合金、アルミニウム、アルミニウムベースの合金一般、アルミニウム-亜鉛合金、アルミニウム-銅合金、アルミニウム-リチウム合金またはチタンから形成される。構造部材11は、資材から機械加工するかまたは鍛造することができる。図2A-図2Dに示されたように、構造部材11は、構造アセンブリ10の荷重の要件および他の設計パラメータに基づいて、技術分野で公知のようにさまざまな構成に鍛造または機械加工することができる。

【0016】上述のように、使用の間に、構造アセンブリ10は静荷重および周期的荷重を受けるのに加え、さまざまな環境条件、温度変化ならびに厳しい音響および振動環境に晒されるが、そのすべては、本明細書中で「動作応力」とまとめて称される機械的応力および熱応力をもたらすものである。一般的に構造部材11全体が異なる大きさの動作応力を受けるが、各構造部材のある領域が比較的高い大きさの動作応力を受けることが典型的である。たとえば、図4Aおよび図4Bを参照すると、対向端部25a、25bと、端部を相互接続するウェブ27とを有するI字状梁24が示される。I字状梁24の端部の一方25aは、固定された支持構造体29に固定されるが、他方端部25bは、図4Aに示されたような、ウェブ27の平面と垂直の方向13a、13bの交番荷重13または、図4Bに示されたような交番曲げ荷重13cなどの周期荷重を受ける。周期荷重は、ウェブ27が端部25a、25bと相互接続するところでモーメント荷重を発生する。モーメント荷重は、結果的に曲げ力および剪断力を生じ、ウェブと端部との相互接続部での、鋭角に機械加工された半径のノッチ効果と組合わさると、比較的高い大きさの動作応力を受ける端部とウェブとが相互接続するところに隣接して、端部25a、25bおよびウェブ27のセグメントをもたらす結果になるのが一般的である。別の実施例（図示せず）では、I字状梁に与えられる荷重は、動作応力が比較的高い領域がウェブ27の長さに沿って位置されるようなものであり得る。動作応力が比較的高い領域は、有限要素分析などの公知の数学方程式および計算法から識別することができる。

【0017】図1に示されたように、構造アセンブリ10の少なくとも1つの構造部材11は、局所的に微細化された結晶粒構造を有する1つまたはそれ以上の領域16を規定し、その領域16は、動作応力が比較的高い領域を少なくとも部分的に包含する。好ましくは、局所的に微細化された領域16内の結晶粒のサイズは、約、0.001から、0.002インチ（約3から5ミクロン）の

大きさのオーダの範囲であり、結晶粒は、局所的に微細化された領域にわたり等軸の形状を有する。これに対して、鑄造によって形成された構造部材11の結晶粒構造は、鑄造合金の組成および鑄造後の構造部材の冷却法に依存して、サイズ、形状および向きが異なるが、典型的には、鑄造された構造部材の結晶粒のサイズは、約、1から、0.1インチ（約2.5mmから、25mm）の大きさのオーダの範囲である。鑄造された構造部材の端縁は部材の内側部分よりも速く冷めるため、鑄造された構造部材の結晶粒は通常、部材の端縁で柱状の形状を有し、部材の内側に向かって立方体形状に遷移する。

【0018】図6に示されたように、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16は、消耗しない回転摩擦攪拌溶接プローブ18で構造部材11の一部を混合または攪拌することにより形成される。混合を行なうには、構造部材11は、従来のクランプ（図示せず）を用いて、摩擦攪拌溶接機の作業台にまず固定される。次に、構造部材11の外表面19を通して、予め選択された深さまで回転摩擦攪拌溶接プローブ18が挿入される。回転プローブを受けるため、構造部材11の外表面を通して開口を予めドリルであけるかまたは穿孔することができるが、好ましくは、回転プローブは、構造部材11の外表面19の中におよびそれを通して直接的に押し込まれる。一旦構造部材に挿入されると、回転プローブ18は、構造部材の外表面19と平行な剪断作用により、プローブの肩20下での混合をもたらす。回転プローブ18は、プローブの軸23と平行なプローブのねじ付部分22のまわりの混合をもたらす。摩擦攪拌溶接の一般的な説明についてはトーマス他（Thomas et al.）の米国特許第5,460,317号を参照し、そのすべての内容がここに引用により援用される。

【0019】回転プローブ18が構造部材11に挿入される深さは、構造部材の材料特性および寸法だけでなく、構造部材が支持する荷重のタイプおよび構造部材に与えられる動作応力の大きさに依存する。周期荷重または交番荷重の結果、動作応力が比較的高い領域で構造部材の表面上で始まる微小割れが生じ、この割れは構造部材の疲労破損をもたらす結果になり得る。1つの実施例では、図1に示されたI字状梁14のウェブ17および図2A-図2Dに示された構造部材11の表面などの、構造部材11の厚みのごく一部が選択的に混合されて、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16を形成する（本明細書中では「部分溶け込み混合」と称される）。たとえば、1インチの厚みを有する構造部材を部分溶け込み混合するには、回転プローブを、構造部材の外表面19を通して約、2.5インチの深さまで挿入することができる。有利には、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16は微小割れの形成および伝播を阻止し、それにより、対応する、動作応力が比較的高い領域における構造部材11の強度、強靱性および耐疲労性を選択的に改

良する。

【0020】別の実施例では、図5Bに示されたように、プローブは、回転プローブの先端18aが構造部材11の反対側19aから距離dにある深さDまで押し込まれる。混合の間に、回転プローブ18は、プローブのサイズおよびプローブ貫通の深さに依存して、約1000から10,000ポンドまたはそれ以上の力を構造部材11に対して与え、かつ、十分な摩擦熱を生成して、回転プローブに隣接する構造部材の部分の温度を、約700°Fから、構造部材を形成する合金の固相線のちょうど下の温度の間に上昇させる。回転プローブ18が生成した摩擦熱は、構造部材に対してプローブが与える力とともに、プローブの先端18aと構造部材の反対側19aとの間の、構造部材の未混合部分21に対して鍛造のような効果を生じることができるが、これは、プローブが反対側19aを突き抜けることなく、未混合部分の結晶粒構造を局所的に微細化するものである。好ましくは、プローブの先端18aと構造部材の反対側19aとの間の、構造部材11の未混合部分21の結晶粒構造を微細化するには、プローブ18は、プローブの先端が構造部材の反対側から約、0.07インチの距離dにあるような深さDまで構造部材の中に押し込まれる。

【0021】この発明の別の実施例に従うと、図5Aおよび図5Cに示されたように、構造部材11の厚み全体が混合され、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16を規定することができる（本明細書中では「完全溶け込み混合」と称される）。完全溶け込み混合は、約、2.5インチ未満の厚みを有する構造部材などの比較的薄い構造部材に好ましいが、2.5インチよりも大きな厚みを有する構造部材の中に結晶粒構造が局所的に微細化された領域16を形成するのにも用いることができる。図5Aに示されたように、約1.5インチ未満の厚みを有する構造部材11を完全溶け込み混合するには、回転プローブ18を、プローブが構造部材の反対側19aを突き抜けるように構造部材の外表面19の中に挿入しかつ構造部材の厚み全体を通して押し込むことができる。結晶粒構造が局所的に微細化された領域16を構造部材の中に形成した後、構造部材の両側19、19aを機械加工して仕上げ表面をもたらすことができる。

【0022】結晶粒構造が局所的に微細化された細長い領域16を形成するとき、以下に論じられるように、構造部材を通るプローブ18の移動の速度は構造部材11の厚みに部分的に依存する。典型的には、構造部材を通る回転プローブの移動の速度は部材の厚みに比例し、1分当たり約5インチから30インチの範囲である。約1.5インチよりも大きな厚みを有する構造部材、および特に、約3インチよりも大きな厚みを有する構造部材については、構造部材の完全溶け込み混合は好ましくは、両側19、19aから構造部材を部分溶け込み混合することによって行なわれ、それにより構造部材を通る回転プ

ローブの移動の速度が増しかつ回転ブローブを壊したりまたは傷付けたりするのを防ぐ。図5Cに示されたように、約1.5インチよりも大きな厚みを有する構造部材は、構造部材11の第1の外側19の中におよびそれを通して、構造部材の厚みの予め選択された部分と等しい深さ α まで回転ブローブ18を挿入することにより完全溶け込み混合され、結晶粒構造が局所的に微細化された第1の領域36を形成することができる。次に、回転ブローブ18は、第1の局所的に微細化された領域36と反対の、構造部材11の反対側19aの中におよびそれを通して深さ β まで挿入されて、結晶粒構造が局所的に微細化された第2の領域36aを形成することができる。1つの実施例では、深さ β は、構造部材の第1の外側19のブローブの挿入深さ α を減じた構造部材11の厚みとほぼ等しい。別の実施例では、深さ β は、第1の外側19のブローブの挿入深さ α を減じた構造部材11の厚みよりも大きいので、結晶粒構造が局所的に微細化された第2の領域36aは、結晶粒構造が局所的に微細化された第1の領域36と少なくとも部分的に重なり合う。

【0023】動作応力が比較的高い細長い領域を有する構造部材11については、回転摩擦撹拌溶接ブローブ18は、図6の矢印30で示されたように、動作応力が高い領域に対応する経路に沿って構造部材11を通して移動され、結晶粒構造が局所的に微細化された細長い領域16をもたらすことができる。1つの実施例に従うと、図7Aに示されたように、比較的高い動作応力を受ける連続的な表面区域を有する構造部材11には、結晶粒構造が微細化された細長い領域16である複数の補強「リブ」26を、回転摩擦撹拌溶接ブローブ18を用いて構造部材の中に形成することができる。

【0024】前述のようにかつ図8の写真で示されたように、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16は、構造部材の表面中の微小割れの形成および伝播に耐えるため、割れ33は局所的に微細化された領域を交差したりまたは横切ったりせず、むしろ領域の周に沿って伝播するのが一般的である。1つの実施例では、図7Bに示されたように、構造部材11の表面付近に補強リブ26が形成されて他のリブと交差し、それにより境界を付けられた領域または封じ込めゾーン32を規定することができる。有利には、交差するリブ26は、構造部材の表面に形成された微小割れ33の伝播を、対応する封じ込めゾーンが規定する区域に制限し、こうして動作応力が比較的高い領域において構造部材の耐疲労性を著しく改良する。約1.5インチまたはそれ未満の厚みを有する構造部材11については、好ましくは、封じ込めゾーン32を規定する補強リブ26は完全溶け込み混合で形成される。比較的に厚い構造部材については、封じ込めゾーン32を規定する補強リブ26は部分溶け込み混合で形成することができる。図7Bに示された封じ込めゾーン3

2は矩形の構成を有しかつ補強リブ26で閉じられるかまたは完全に境界を付けられるが、この発明に従う封じ込めゾーンはまた、少なくとも部分的に開いているかまたは境界を付けられておらず、直線と曲線との両構成を含む他の構成を有することができる。たとえば、図7Cに示されたように、結晶粒構造が局所的に微細化された細長い領域16は、だんだん小さくなる螺旋状の曲線部分39を有して形成され、これは、伝播する割れをそれ自体の上に封じ込めかつ再方向付けし、割れを鈍らせてさらなる伝播を阻止する。

【0025】この発明の別の実施例に従うと、図9Aおよび図9Bに示されたように、比較的高い動作応力を受ける連続的な表面区域を有する構造部材11については、結晶粒構造が局所的に微細化された重なり領域16が形成されて、結晶粒構造が局所的に微細化された連続区域46を規定することができる。図9Cおよび図9Dに示されたように、構造部材11は次に機械加工されて一切の過剰な材料31を取除き、所望の寸法および構成を有する構造部材を提供することができる。有利には、構造部材11が図9Cに示されたものなどの比較的高い動作応力を受けるフランジまたは他の突起34を含む場合、結晶粒構造が局所的に微細化された連続区域46を機械加工して、選択的に改良された強度、強靱性および耐疲労性を有する突起34を設けることができる。

【0026】別の実施例では、構造部材11の外表面19は、ノッチ、溝、アパーチャまたは他の表面不連続部35を規定するが、これは応力を集中して不連続部に近接して比較的高い動作応力を生じるものである。たとえば、図9Cに示されたように、構造部材11は、突起34が部材と相互接続する、鋭角に機械加工された半径38を含むことができる。図10に示されたように、構造部材は、部材を他の構造部材に固定して構造アセンブリ10を形成するのを容易にするねじ付開口37を含むことができる。または、図11に示されたように、構造部材は、宇宙船の窓または開口40を規定するアパーチャを含むことができる。ねじ付開口37または他の応力上昇不連続部35を機械加工または形成するのに先立ち、少なくとも部分的に不連続部を包含する構造部材11の区域が回転摩擦撹拌溶接ブローブ18で混合され、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16を形成することができる。ねじ付開口37または他の不連続部35は次に構造部材11の外表面19の中に機械加工されるため、不連続部35は、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16内に少なくとも部分的に保持される。図10に示されたように、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16は好ましくは、ねじ付開口を包含しかつ取囲みかつ、ねじ付開口のほぼ直径から開口直径の2倍の範囲の距離分、開口のセンターラインから離れるように延在する。混合領域16の高められた材料特性は、不連続部35のすぐ近傍での増加した動作応力を補う。

【0027】1つの実施例では、ねじ付開口37は、不連続部35を包含する構造部材11の区域を回転摩擦撹拌溶接プローブ18で混合して、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16を形成することにより形成される。ねじ付開口37のねじ山に対応する寸法を備えるねじ山を好ましくは有する回転プローブ18は、ねじ付開口が形成されるべき、構造部材の外表面19上の場所に構造部材11を通して動かされ、ねじ付開口の所望の深さに対応する深さまで部材の中に挿入される。回転プローブ18が一旦所望の場所および深さに入ると、プローブの回転は止まる。結晶粒構造が局所的に微細化された、新たに形成された領域16は次に冷まされ、その後、構造部材からプローブを抜くことにより、プローブ18が構造部材11から引き抜かれ、それによりねじ付開口37を規定する。有利には、ねじ付開口37のねじ山は、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16で包含されるため、ねじ山は高められた材料特性を有し、増加した動作応力を補う。

【0028】別の実施例では、図3Aおよび図3Bに示されたように、鋳造I字状梁57の端部55a、55bは、最終的な機械加工に先立って回転摩擦撹拌溶接プローブ18で混合されて、結晶粒構造が局所的に微細化された細長い領域16を形成し、ウェブが端部と相互接続するところに隣接した、鋭角に機械加工された半径58のすぐ近傍で、増加した動作応力を補うことができる。結晶粒構造が局所的に微細化された細長い領域16は好ましくは重なり合って、I字状梁の端部55a、55bを通してかつウェブ57の対応する端の少なくとも部分的に中に延在する、結晶粒構造が局所的に微細化された連続区域46を規定する。局所的に結晶粒構造が微細化された細長い領域16を形成した後、I字状梁57は機械加工されて過剰な材料53を去除し、所望の寸法および構成を有する構造部材11をもたらすことができる。

【0029】別の実施例では、図11に示されたように、宇宙船などの構造アセンブリ（図示せず）の窓または開口40は、技術分野で公知のように、所望の開口を有する予め選択された構成に構造部材11を鋳造することによって形成される。最終的な機械加工に先立ち、構造部材11は、窓40の周の少なくとも一部の付近で回転摩擦撹拌溶接プローブ18で混合され、高められた材料特性を有する、結晶粒構造が局所的に微細化された1つの領域または複数の領域16を形成して、不連続部35のすぐ近傍での増加した動作応力を補う。局所的に微細化された領域または複数の領域16は部分溶け込み混合によって形成することができるが、好ましくは、構造部材11は窓40の周の付近で完全溶け込み混合されて、結晶粒構造が局所的に微細化された、複数の細長い重なり領域16を形成する。結晶粒構造が局所的に微細化された重なり領域16は、構造部材11のいずれかの端にも形成され、構造部材を他の構造部材に固定して構

造アセンブリを形成するための複数のねじ付開口37を少なくとも部分的に包含する、結晶粒構造が局所的に微細化された連続区域46を規定する。局所的に結晶粒構造が微細化された領域または複数の領域16を形成した後、構造部材11が機械加工されて過剰な材料53を去除し、所望の寸法および構成を有する構造部材をもたらすことができる。

【0030】図12を参照すると、この発明の1つの実施例に従う、トルク荷重42を受ける、管状の鋳造構造部材11が示される。トルク荷重の結果、構造部材11は、予測される破損モードが45°の螺旋状に形作られた剪断破損ゾーンであるような、比較的より高い大きさの動作剪断応力を受ける。増加した動作応力を補うため、構造部材は好ましくは回転摩擦撹拌溶接プローブ18で混合されて、螺旋状の構成を有する、結晶粒構造が局所的に微細化された1つまたはそれ以上の細長い領域16を規定する。有利には、鋳造された構造部材11の未混合部分43は比較的割れやすいが、局所的に微細化された領域16は比較的延性であり、したがって撓むためのゾーンを設け、それにより動作応力が比較的高い対応する領域での構造部材11の強度、強靱性および耐疲労性を改良する。

【0031】別の実施例では、図13Aおよび図13Bに示されたように、鋳造された構造部材11は、構造部材の一部を延伸して部材を所望の構成に形作るなどの、作製の間の機械加工を受ける。機械加工作業を行なう前に、機械加工される区域を少なくとも部分的に包含する構造部材11の区域が回転摩擦撹拌溶接プローブ18で混合されて、鋳造された構造部材の未混合部分に対して改良された延性および成形性を有する、結晶粒構造が局所的に微細化された領域16を形成することができる。次に技術分野で公知のように、構造部材を所望の構成に機械加工することができる。有利には、図13Bに示されたように、機械加工作業が行なわれるときに、局所的に微細化された領域16で延伸が起こるため、局所的に微細化された領域に隣接した、構造部材11の未混合部分44の中に鋳造されたいずれの細部も、機械加工作業を通して寸法が安定したままである。

【0032】この発明の別の実施例に従うと、構造部材は、融接または非融接工程のいずれかによって形成された溶接接合を介して部材に接合された1つまたはそれ以上のインサートを含むことができる。たとえば、図14A-図14Cに示されたように、構造部材51は、摩擦撹拌溶接接合52を介して部材に接合されたインサート51aを含む。図14Aを参照すると、構造部材51は、溶接に先立ってインサートを構造部材に滑り嵌めまたはプレス嵌めできるような、インサート51aの寸法に対応する寸法を有するフライス加工された溝またはアーチャ50を含むことができる。インサート51aは構造部材51と同じ材料を含むことができるが、好まし

くは、インサートは異なる材料を含む。同様に、インサートおよび構造部材は、鋳造物または鍛錬もしくは機械加工された構成要素などの、同じまたは異なる作製工程から形成することができる。別の実施例では、図 15 に示されたように、インサート 51b は、構造部材 51a が規定するアパーチャ 56 のためのライニングを含むことができ、インサートは融接接合 52 によって構造部材に接合される。溶接接合 52 での、特にインサートが異なる材料または異なる作製工程から形成されるところでの、インサート 51a と構造部材 51 との間の結晶粒のサイズおよび構造の遷移は応力の上昇をもたらす、その結果、比較的高い動作応力を生じる。結晶粒のサイズの不連続による、増加した動作応力を補うため、構造部材 51 およびインサート 51a は好ましくは、溶接接合 52 に隣接しておよびその経路に沿って回転摩擦攪拌溶接プローブ 18 で混合され、結晶粒構造が局所的に微細化された 1 つまたはそれ以上の細長い領域 16 を規定する。

【0033】別の実施例（図示せず）に従うと、構造部材は、応力を集中して、その結果、欠陥に近接して比較的高い動作応力を生じる外部または内部の欠陥を規定する。たとえば、鋳造構造部材の外部欠陥は、表面と連通するガスホールもしくはブローホール、スケールもしくは酸化物などの介在物または鋳造後の収縮による熱間亀裂および割れを含み得る。鋳造物の内部欠陥は内部収縮を含み得る。鍛造物の外部欠陥は、巻き込み、成層、皮傷、肌傷、かぶり傷、パークまたは割れを含み得る。増加した動作応力を補いつつ欠陥を修復するには、構造部材は好ましくは回転摩擦攪拌溶接プローブで混合され、結晶粒構造が局所的に微細化された 1 つまたはそれ以上の領域を規定する。

【0034】所望の形状および長さを有する、結晶粒構造が局所的に微細化された領域 16 が一旦構造部材 11 の中に形成されると、回転プローブ 18 は部材から引き抜かれる。回転プローブ 18 の引き抜きは、構造部材 11 の外表面 19 中に不規則部を結果的に生じ得る。1 つの実施例（図示せず）では、回転プローブ 18 の引き抜きによって生じたいずれの不規則部も保持する構造部材の部分は切取られるかまたは埋められ得る。好ましくは、構造部材 11 は次に、特定の設計荷重および結果として生じる構造アセンブリ 10 の仕様が必要とするのに従い、予め選択された形状および厚みに機械加工されるかまたは、所望の表面仕上げを得る。たとえば、CNC フライス盤を用いて必要に応じて構造部材 11 を機械加工することができる。

【0035】構造部材 11 内での摩擦攪拌溶接プローブ 18 の回転は、周囲の材料を可塑化し、それにより厳しく変形されながら高度に微細化される結晶粒構造をもたらすのに十分な熱エネルギーを生成する。さらに、混合の工程はボイドを排除し、したがって混合領域 16 での構

造部材 11 の密度を増す。有利には、結晶粒構造が局所的に微細化された領域 16 は、構造部材 11 の未混合部分と比較して、著しく高められた強度、強靱性および耐疲労性を有する。結晶粒構造が局所的に微細化された領域 16 は、比較的高い動作応力を受けると予測される領域のすべてまたは少なくとも一部を包含するため、結晶粒構造が局所的に微細化された領域 16 は、結果として生じる領域が高い動作応力にさらによく耐えるのを可能にする。構造部材 11 の混合領域 16 の高められた材料特性により、混合領域を有するそれらの区域での構造部材の厚みが減じられ、それによりこの発明に従って作られる構造アセンブリ 10 の全体的な重量の減少を得ることができる。

【0036】また、構造部材 11 を析出硬化して、部材の未混合部分の材料特性を改良してもよい。これはアルミニウム合金には特に有利である。金属合金の析出硬化は、金属合金の機械的特性が元の相マトリックス内の 1 つまたはそれ以上の二相の、均一に分散された粒子または沈殿物の形成により改良される工程である。技術分野で公知のように、析出硬化は、金属合金が二度の熱処理工程を経ることが必要であり、第 1 の工程は溶体化熱処理であり、第 2 の工程は析出熱処理であり、その両者とも予め定められた温度スケジュールで行なわれる。析出硬化は、構造部材 11 の結晶粒構造の局所的微細化の前または後のいずれかに行なわれてもよいが、好ましくは、析出硬化工程は、結晶粒構造が局所的に微細化された領域 16 の形成の後に行なわれる。部材の結晶粒構造を局所的に微細化した後に構造部材を析出硬化するとき、構造部材の局所的に微細化された領域と未混合部分との間で過剰な量の残留応力を発生しないように、結晶粒構造が局所的に微細化された領域 16 が混合の間に十分に加熱されなければならない。

【0037】図 16 を参照すると、この発明の 1 つの実施例に従う構造部材を製造するために行なわれる作業が示される。第 1 のステップは、予め選択された構成に構造部材を鋳造するステップを含む。ブロック 60 を参照。比較的高い動作応力を有する構造部材の領域は、数学的分析によりまたは以前の経験に基づいてなどにより識別される。ブロック 61 を参照。部材全体の材料特性をまず改良するように、構造部材を析出硬化してもよい。ブロック 62 を参照。

【0038】次に構造部材は動かさないように固定される。ブロック 63 を参照。摩擦攪拌溶接プローブは、比較的高い動作応力を有する構造部材の領域に隣接して位置付けられる。ブロック 64 を参照。動作応力が高い領域内で構造部材の結晶粒構造を局所的に微細化し、それによりその領域での構造部材の強度、強靱性および耐疲労性を改良するように、比較的高い動作応力を有する構造部材の領域が回転摩擦攪拌溶接プローブで次に混合される。ブロック 65 を参照。混合のステップは、応力の

高い領域の結晶粒構造を局所的に微細化するように、動作応力が高い領域に近接して、構造部材の外表面を通して回転摩擦撹拌溶接プローブを挿入するステップを含む。ブロック 66 を参照。混合のステップは、動作応力が高い領域に対応する経路に沿って構造部材を通して回転摩擦撹拌溶接プローブを移動させるステップも含んでもよい。ブロック 67 を参照。1つの好ましい実施例では、固定のステップ、位置付けのステップおよび混合のステップが繰返されて、構造部材内に結晶粒構造が局所的に微細化された 2 つ以上の領域を形成する。別の好ましい実施例では、位置付けのステップおよび混合のステップが繰返されて、結晶粒構造が局所的に微細化された所望の数の領域、たとえば間隔をあけられかつほぼ平行な複数の補強リブを構造部材内に形成する。1つの実施例では、挿入のステップの後に、摩擦撹拌溶接プローブが構造部材の外表面から引き抜かれ、それにより局所的に微細化された結晶粒構造を有する構造部材の領域の少なくとも部分的に中でねじ付開口を規定する。ブロック 68 を参照。

【0039】次に構造部材は、対応する予め選択された形状および厚みに機械加工される。ブロック 69 を参照。ねじ付開口は、局所的に微細化された結晶粒構造を有する構造部材の一部の少なくとも部分的に中で機械加工され得る。ブロック 70 を参照。次に構造部材を析出硬化することができる。ブロック 71 を参照。次に構造部材は他の構造部材に固定されて機体の機枠を形成する。ブロック 72 を参照。

【0040】このように、この発明は、改良された構造アセンブリと、比較的高い動作応力を受けるそれらの領域において、高められた強度、強靱性および耐疲労性を有する構造部材からアセンブリが作られる、関連する製造方法とを提供する。改良された構造アセンブリは、動作寿命および信頼性が増すだけでなく、必要とする資材が少なく、アセンブリの全体的な重量が対応して減少する。さらに、改良された製造法により、航空宇宙産業向けの構造アセンブリの建造において、同等の鍛錬されたまたは機械加工された構成要素よりも作製が典型的により安価である、より多くの鋳造物の使用も可能になる。

【0041】前述の説明および関連する図面に与えられた教示の利点を有する、この発明が属する技術分野の当業者には、この発明の多くの変形および他の実施例が思い浮かぶであろう。したがって、この発明は開示された特定の実施例に限られるものではなく、添付の請求項の範囲内に変更および他の実施例が含まれることが意図されると理解されたい。本明細書中で特定の用語が用いられるが、それらは包括的かつ説明的な意味でのみ用いられ、限定の目的で用いられるものではない。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 この発明の 1 つの実施例に従う構造アセンブリを示す斜視図である。

【図 2】 (A) - (D) は、この発明に従う構造部材の他の例示的な実施例を示す断面図である。

【図 3】 (A) は、この発明の 1 つの実施例に従う、選択的に補強された鋳造 I 字状梁を示す断面図であり、(B) は、(A) の I 字状梁の機械加工仕上げされたプロフィールを示す断面図である。

【図 4】 (A) および (B) は、技術分野で公知のように、交番荷重を受ける従来の I 字状梁を示す断面図である。

【図 5】 (A) は、この発明の 1 つの実施例に従う、部材の厚み全体を混合することによる構造部材の選択的な結晶粒構造微細化を示す断面図であり、(B) は、この発明の別の実施例に従う、部材の厚みの一部を混合することによる構造部材の選択的な結晶粒構造微細化を示す断面図であり、(C) は、この発明のさらに別の実施例に従う、部材の厚み全体を混合することによる構造部材の選択的な結晶粒構造微細化を示す断面図である。

【図 6】 この発明の 1 つの実施例に従う、構造部材の選択的な結晶粒構造微細化を示す斜視図である。

【図 7】 (A) は、複数の補強リブを有する、この発明に従う構造部材の 1 つの実施例を示す平面図であり、(B) は、複数の封じ込めゾーンを有する、この発明に従う構造部材の別の実施例を示す斜視図であり、(C) は、開いた曲線状封じ込めゾーンを有する、この発明に従う構造部材の別の実施例を示す平面図である。

【図 8】 この発明の 1 つの実施例に従う、結晶粒構造が局所的に微細化された領域の周に沿った割れの伝播を示す写真の図である。

【図 9】 (A) は、結晶粒構造が局所的に微細化された、複数の重なり合う細長い領域が規定する、結晶粒構造が局所的に微細化された連続区域を有する、この発明に従う構造部材の 1 つの実施例を示す平面図であり、

(B) は、(A) の構造部材の (A) の線 9B-9B に沿った断面図であり、(C) は、(A) の構造部材の機械加工仕上げされたプロフィールを示す平面図であり、(D) は、(C) の構造部材の (C) の線 9D-9D に沿った断面図である。

【図 10】 機械加工されたねじ付開口を有する、この発明に従う構造部材の 1 つの実施例を示す断面図である。

【図 11】 窓を有する、この発明に従う構造部材の 1 つの実施例を示す平面図である。

【図 12】 結晶粒構造が局所的に微細化された、螺旋状に構成された領域を有する、この発明に従う管状構造部材の 1 つの実施例を示す斜視図である。

【図 13】 (A) は、完成した構成に形作られる前の、この発明に従う、鋳造された構造部材の 1 つの実施例を示す斜視図であり、(B) は、完成した構成に形作られた後の、(A) の構造部材を示す斜視図である。

【図 14】 (A) は、機械加工された溝を有する、鋳

造された構造部材を示す断面図であり、(B)は、アパーチャ内に位置付けられたインサートを有する、(A)の構造部材を示す断面図であり、(C)は、この発明の1つの実施例に従う、溶接接合に隣接した、溶接接合と結晶粒構造が局所的に微細化された領域とを介して(B)の構造部材に接合されたインサートを示す平面図である。

【図15】 この発明の別の実施例に従う、溶接接合に隣接した、構造部材および局所的に結晶粒構造が微細化

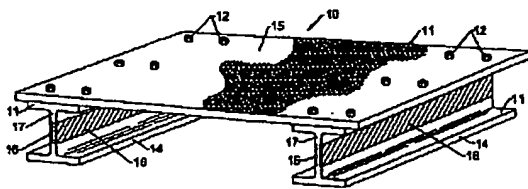
された領域への溶接接合を介して接合されたインサートを示す平面図である。

【図16】 この発明の1つの実施例に従う、図1の構造アセンブリおよび図2-図15の構造部材を作製するために行なわれる作業を示すフローチャートの図である。

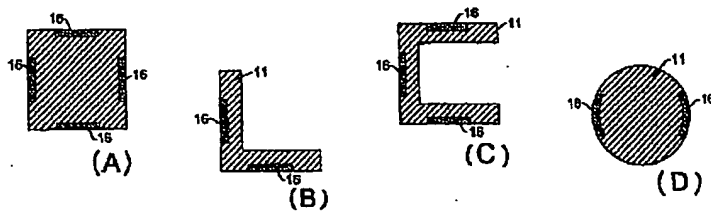
【符号の説明】

11 構造部材、14 I字状梁、16 領域、17 ウェブ。

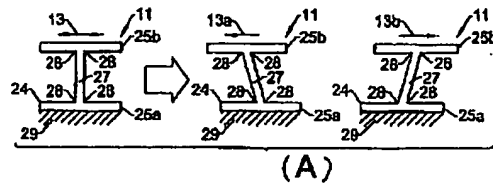
【図1】



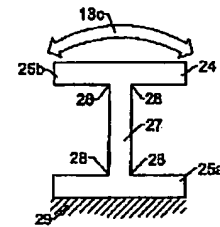
【図2】



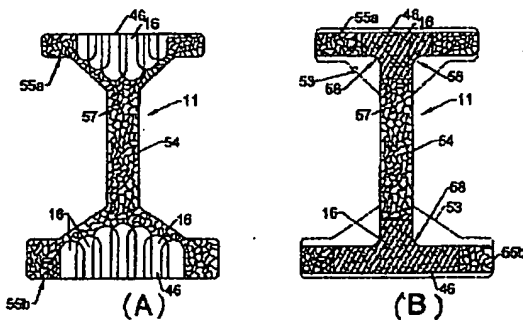
【図4】



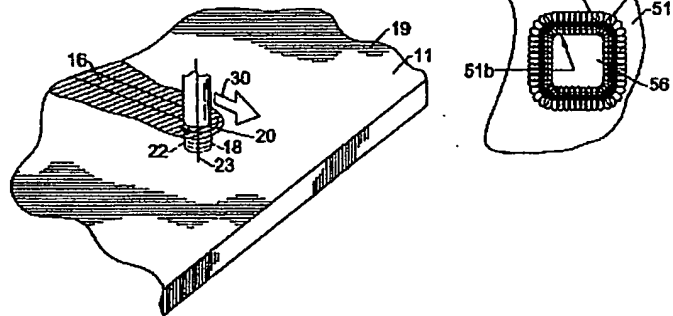
(B)



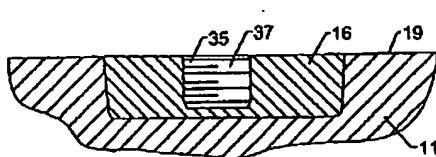
【図3】



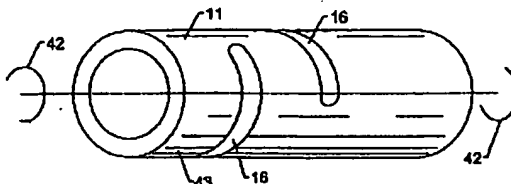
【図6】



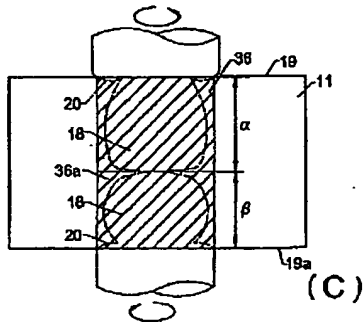
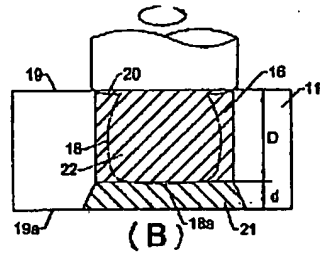
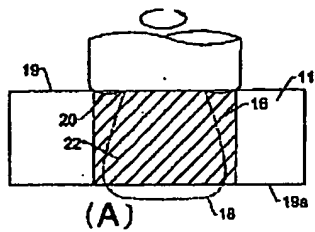
【図10】



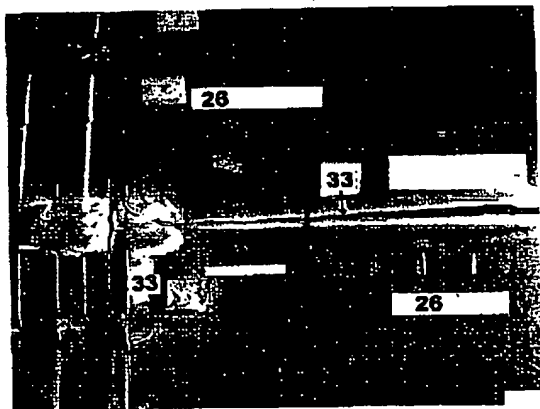
【図12】



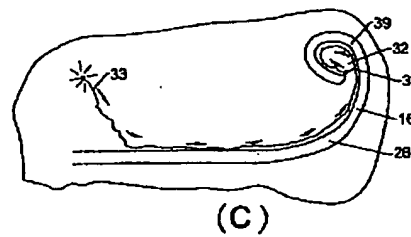
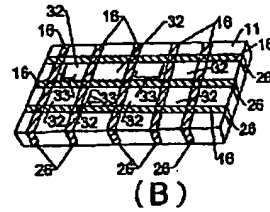
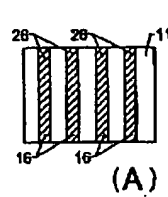
【図5】



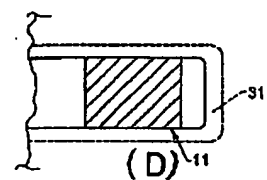
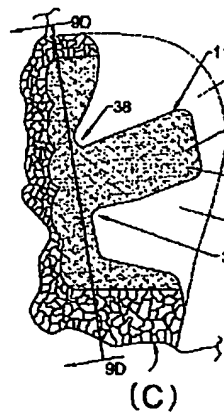
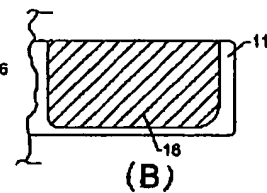
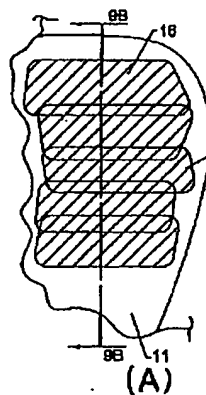
【図8】



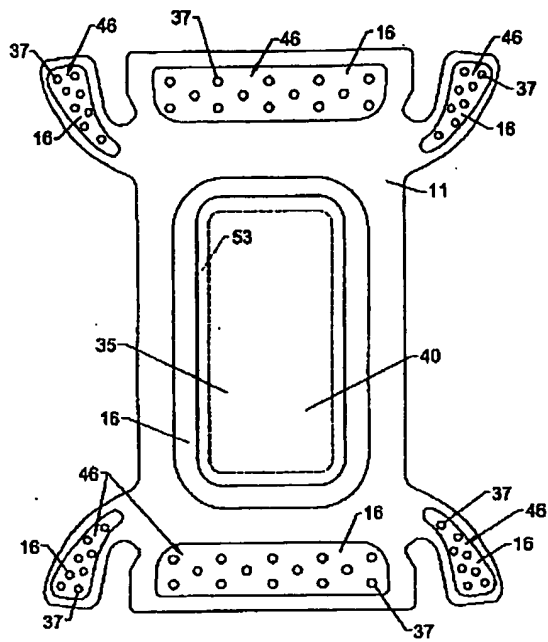
【図7】



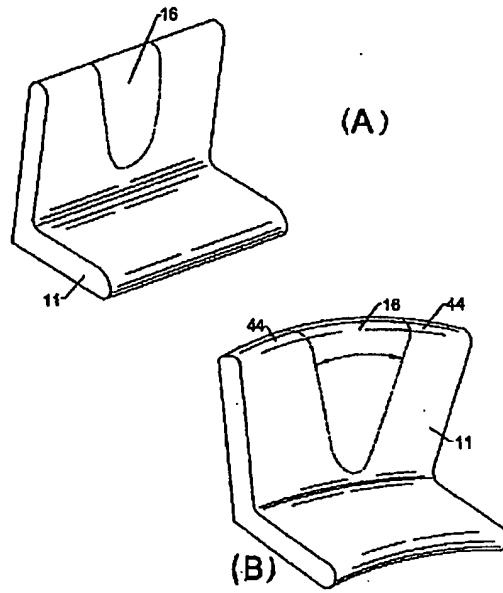
【図9】



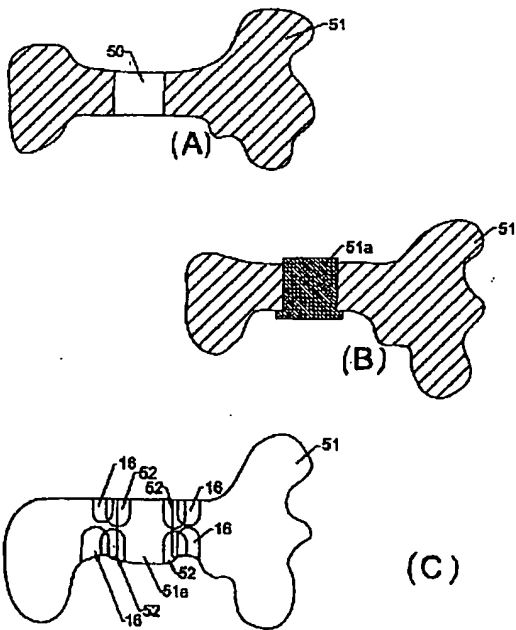
【図11】



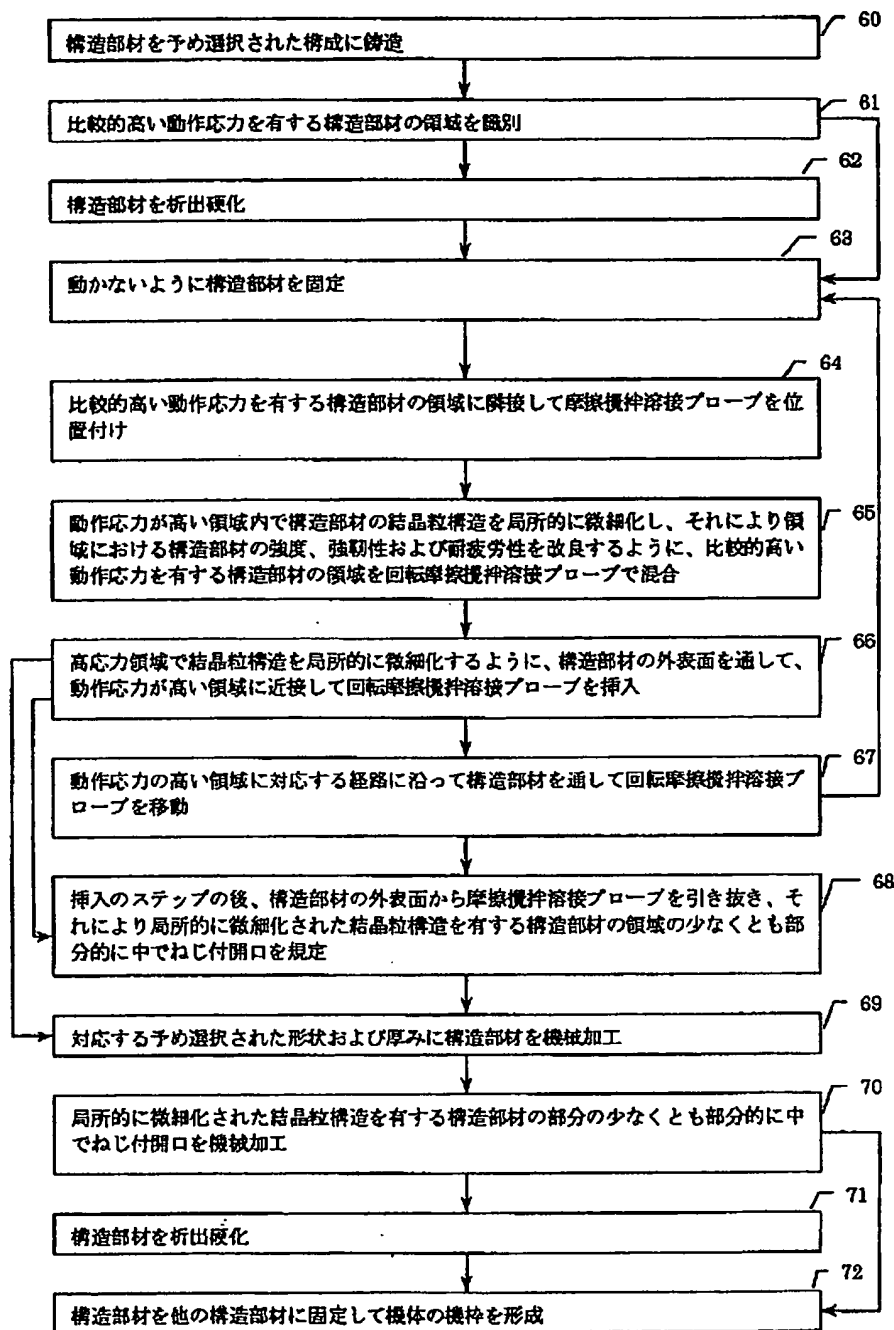
【図13】



【図14】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 ダグラス・ジェイ・ウォルドロン
 アメリカ合衆国、92708 カリフォルニア
 州、ファウンテン・バリー、チーク・サー
 クル、16537

Fターム(参考) 4E067 AA02 AA03 AA05 AA06 AA07
 BC00 EA06